



A new method for determining the location of the instantaneous axis of rotation during human movements

BRU Bertrand & PASQUI Viviane



**Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique
Université Pierre et Marie Curie – Paris**



34^{ me} Congrès annuel de la
Société de Biomécanique
Toulon – 31 août au 2 septembre 2009

Plan:

- Introduction
 - Objectif et motivations
 - Les difficultés rencontrées
 - Les méthodes existantes
 - Objectifs de ce travail
- Méthode
 - Formulations mathématiques
 - Simulations
 - Protocole expérimental
- Résultats
 - Simulations
 - Protocole expérimental
- Discussions et Perspective

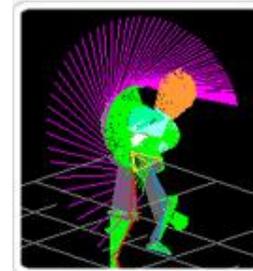
Introduction: Les objectifs & les motivations

- **Objectifs:** modèle réaliste du mouvement humain et de la cinématique humaine

- Quelles sont les **motivations** à connaître la **localisation** de l'axe instantané de rotation?

- Analyse d'un geste sportif,
- Simulation de pantin
- Réalisation d'interface de stimulation physiologique
- Actes chirurgicaux

Analyse d'un geste sportif



Simulation de pantin



Actes chirurgicaux



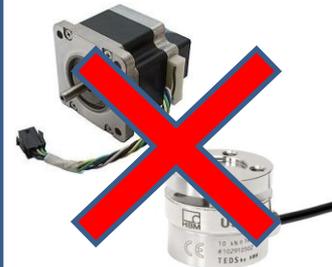
Réalisation d'interface



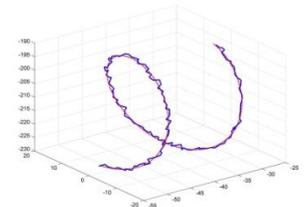
Introduction: Les difficultés

- Les difficultés:
 - Pas de moyens de **mesures directes**,
 - Les mesures entachées d'erreurs:
 - Artefacts,
 - Tissus mous,
 - Articulations **physiologiques** \neq **mécaniques**
 - Différence inter-sujets

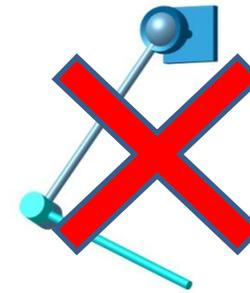
Moyens de mesures directes



Erreurs de mesure



Complexité articulaire



Différence inter-sujet



Introduction: Méthodes Existantes

● Méthodes fonctionnelles

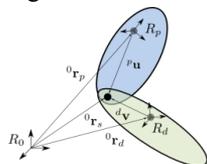
- SCoRE (Ehrig et al, 2005; Monnet et al, 2006)
- Axe hélicoïdal (Woltring et al, 1985; Guillard, 2005)
- ...

● Méthodes prédictives

- Régressions linéaires (De Leva, 1996)
- Méthode par simple observation (Sati et al., 1994)
- ...

SCoRE

- Détermine les coordonnées du centre de rotation dans 2 repères
- ✓ Pas sensible aux faibles vitesses angulaires
- ✗ Nécessite un pré-test à chaque expérimentation
- ✗ Problème dans la reconstruction dans le repère de référence
- ✗ Mouvement spécifique



Axe hélicoïdal

- Détermine la position du centre de rotation et un vecteur directeur unitaire
- ✓ Recommandée par l'ISB.
- ✓ Facilité d'utilisation
- ✗ Sensible aux faibles vitesses angulaires

Introduction: Méthodes Existantes

● Méthodes fonctionnelles

- SCoRE (Ehrig et al, 2005; Monnet et al, 2006)
- Axe hélicoïdal (Woltring et al, 1985; Guillard, 2005)
- ...

● Méthodes prédictives

- Régressions linéaires (De Leva, 1996)
- Méthode par simple observation (Sati et al., 1994)
- ...

Régressions linéaires

- Le centre articulaire est défini à partir des dimensions du segment.
- ✗ Peu fiable

Méthode par simple observation

- Détermine la position de l'axe instantané de rotation par deux marqueurs anatomiques
- ✓ Facilité d'utilisation
- ✗ Très utilisée mais peu fiable

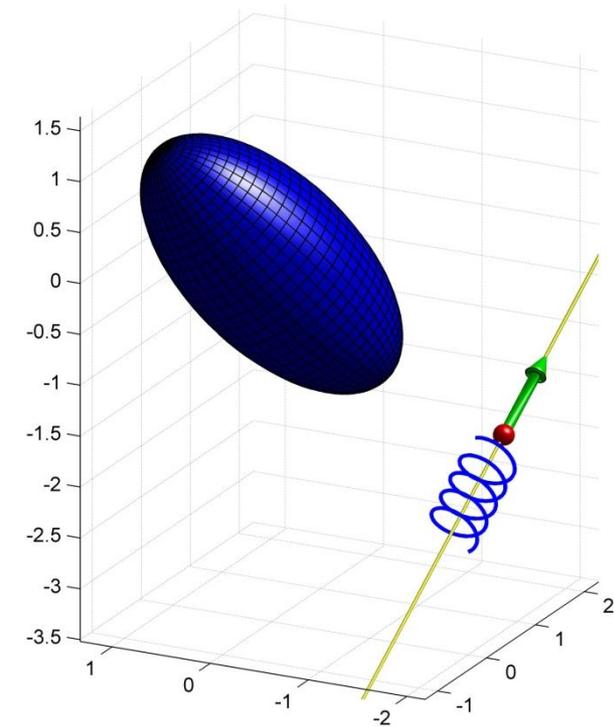
Introduction:

- Objectifs: mettre en place une méthode
 - Simple,
 - Permettant une individualisation des modèles,
 - Permettant l'obtention d'un **modèle réaliste**.

- Hypothèses fortes:
 - Segments corporels = **Solides rigides**,
 - Mouvements relatifs inter-segmentaires quelconques

Formulation Mathématique: Application sur un segment

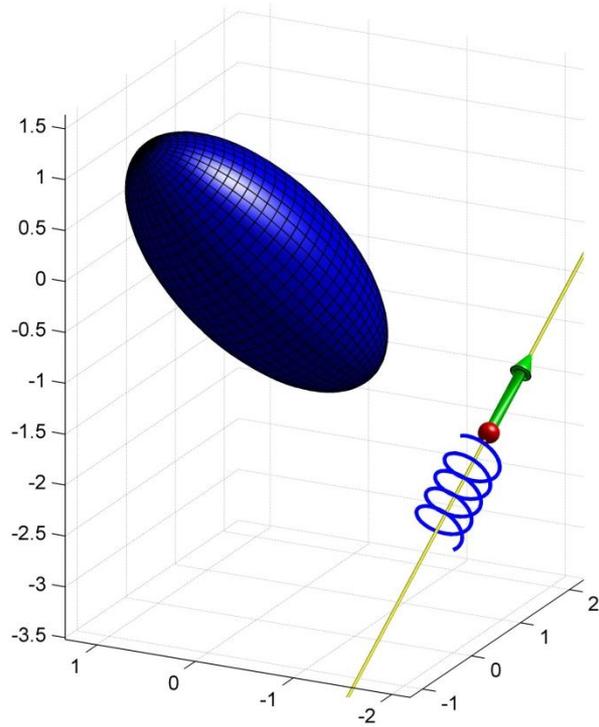
● $\|\overrightarrow{A_i A_j}\| (t) = \text{coste} \quad \forall t \text{ pour } i, j = 1, 2, 3$



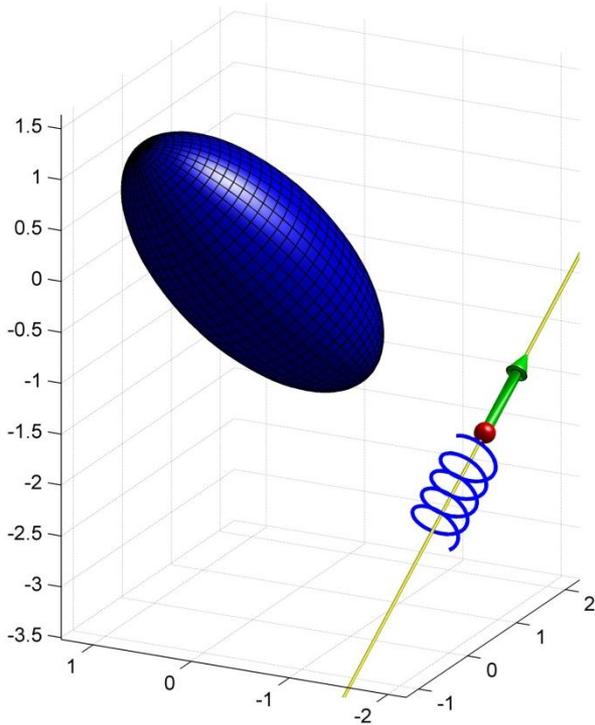
Formulation Mathématique: Application sur un segment

● $\|\overrightarrow{A_i A_j}\| (t) = \text{coste} \quad \forall t \text{ pour } i, j = 1, 2, 3$

● $\vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \lambda \cdot \vec{\Omega}_{S/R_0}$

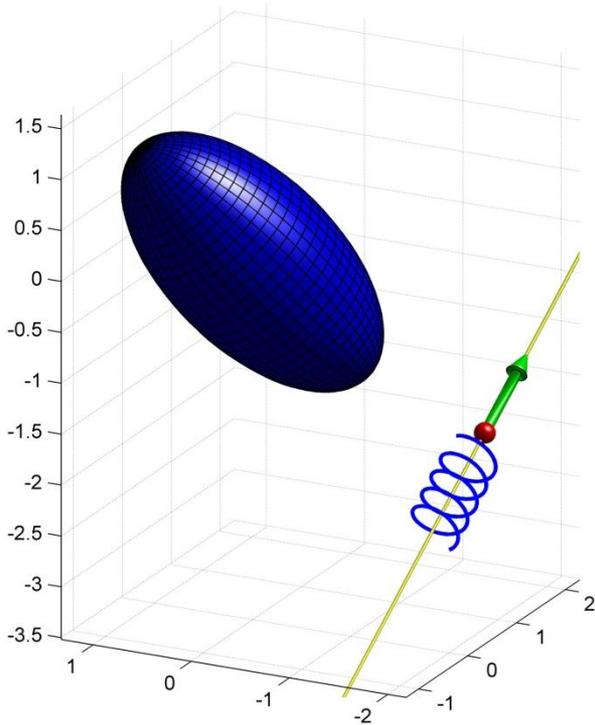


Formulation Mathématique: Application sur un segment



- $\|\overrightarrow{A_i A_j}\| (t) = \text{coste} \quad \forall t \text{ pour } i, j = 1, 2, 3$
- $\vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \lambda \cdot \vec{\Omega}_{S/R_0}$
- $\vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{V}_{(P \in S/R_0)} + \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \overrightarrow{PA}$

Formulation Mathématique: Application sur un segment



- $\|\overrightarrow{A_i A_j}\| (t) = \text{coste} \quad \forall t \text{ pour } i, j = 1, 2, 3$

- $\vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \lambda \cdot \vec{\Omega}_{S/R_0}$

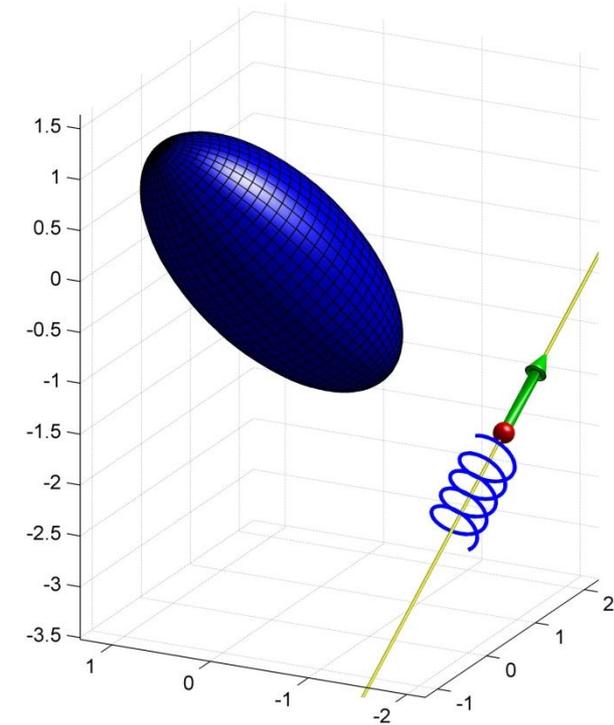
- $\vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{V}_{(P \in S/R_0)} + \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \overrightarrow{PA}$

- $\vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge (\vec{V}_{(P \in S/R_0)} \wedge \overrightarrow{PA})$ ⤵ $\times \vec{\Omega}_{S/R_0}$

avec $\vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \vec{0}$

car $\vec{V}_{(P \in S/R_0)}$ et $\vec{\Omega}_{S/R_0}$ sont colinéaires (eq. 1)

Formulation Mathématique: Application sur un segment



- $\|\overrightarrow{A_i A_j}\| (t) = \text{coste} \quad \forall t \text{ pour } i, j = 1, 2, 3$

- $\vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \lambda \cdot \vec{\Omega}_{S/R_0}$

- $\vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{V}_{(P \in S/R_0)} + \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \overrightarrow{PA}$

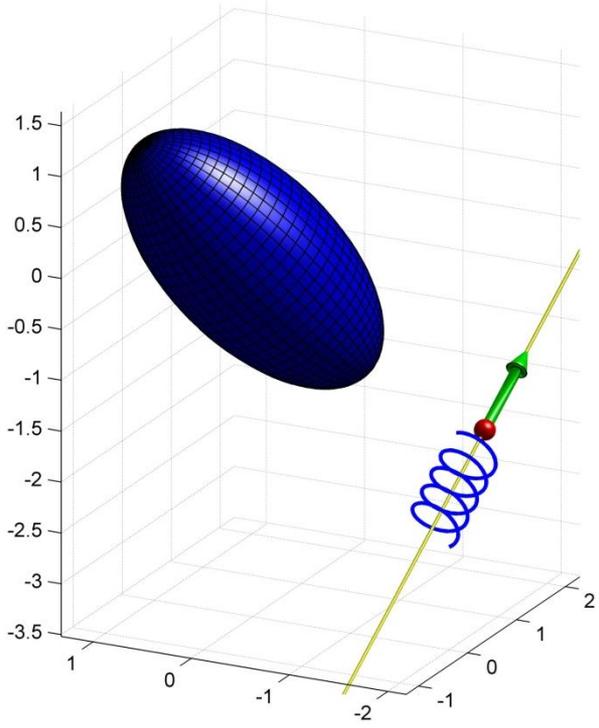
- $\vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge (\vec{V}_{(P \in S/R_0)} \wedge \overrightarrow{PA})$ ⤵ $\times \vec{\Omega}_{S/R_0}$

avec $\vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \vec{0}$

car $\vec{V}_{(P \in S/R_0)}$ et $\vec{\Omega}_{S/R_0}$ sont colinéaires (eq. 1)

- $\overrightarrow{PA} = \overrightarrow{PA'} + \overrightarrow{A'A}$

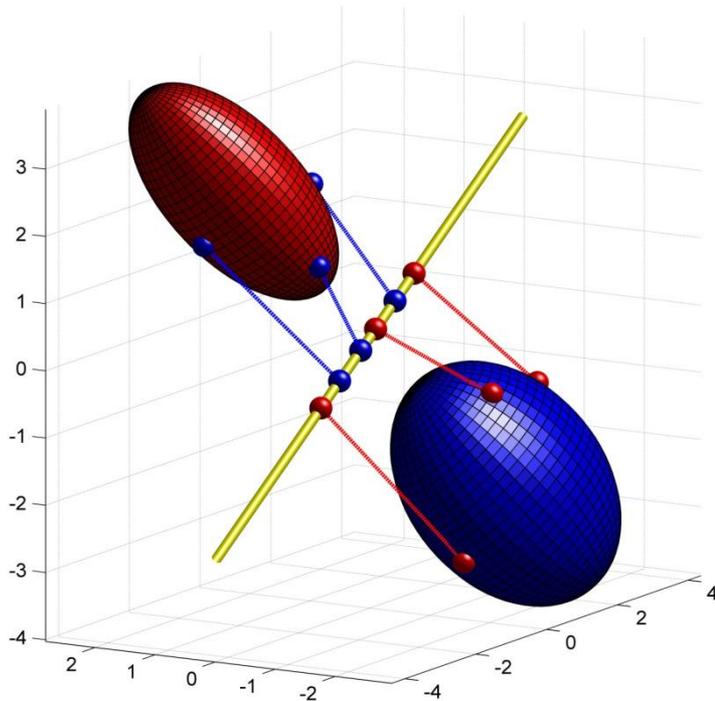
Formulation Mathématique: Application sur un segment



- $\|\overrightarrow{A_i A_j}\| (t) = \text{coste} \quad \forall t \text{ pour } i, j = 1, 2, 3$
 - $\vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \lambda \cdot \vec{\Omega}_{S/R_0}$
 - $\vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{V}_{(P \in S/R_0)} + \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \overrightarrow{PA}$
 - $\vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \vec{V}_{(A \in S/R_0)} = \vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge (\vec{V}_{(P \in S/R_0)} \wedge \overrightarrow{PA})$ ↻ $\times \vec{\Omega}_{S/R_0}$
- avec $\vec{\Omega}_{S/R_0} \wedge \vec{V}_{(P \in S/R_0)} = \vec{0}$
 car $\vec{V}_{(P \in S/R_0)}$ et $\vec{\Omega}_{S/R_0}$ sont colinéaires (eq. 1)
- $\overrightarrow{PA} = \overrightarrow{PA'} + \overrightarrow{A'A}$
 - $$\overrightarrow{A'A} = \frac{\vec{V}_{(A \in S/R_0)} \wedge \vec{\Omega}_{S/R_0}}{(\vec{\Omega}_{S/R_0})^2}$$

Formulation Mathématique: Application sur deux segments

Soit deux segments $S1$ et $S2$ en mouvement autour de l'axe Δ .
Les points A_i et B_j appartiennent respectivement au corps $S1$ et $S2$
 A'_i et B'_j sont les projets orthogonaux de A_i et B_j sur Δ .



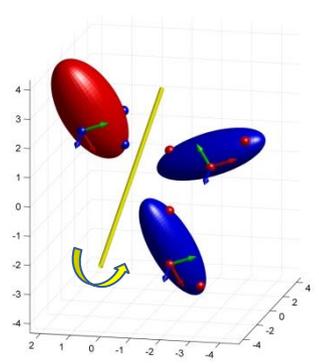
$$\left\{ \begin{aligned} \overrightarrow{A_i A'_i} &= \frac{\vec{V}_{(A_i \in S1/S2)} \wedge \vec{\Omega}_{S1/S2}}{(\vec{\Omega}_{S1/S2})^2} \\ \overrightarrow{B_j B'_j} &= \frac{\vec{V}_{(B_j \in S2/S1)} \wedge \vec{\Omega}_{S2/S1}}{(\vec{\Omega}_{S2/S1})^2} \end{aligned} \right.$$

Simulations:

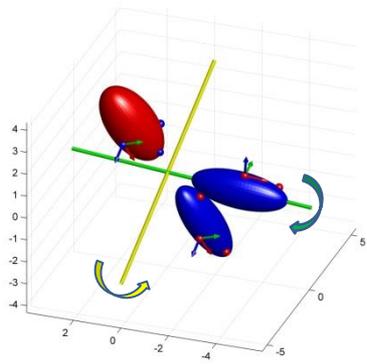
La capacité de cette méthode de trouver avec précision la position de l'axe instantané de rotation a premièrement été évaluée par simulations.

3 types mouvement

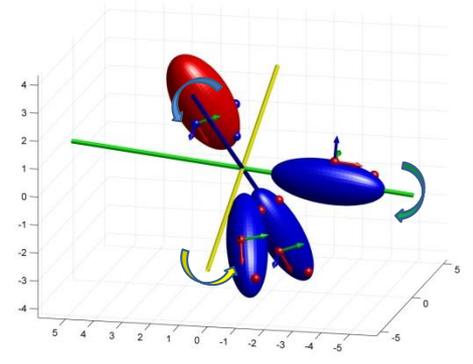
Flexion – Extension



Flexion – Extension & Pronation – Supination



Mouvement aléatoire



Résultats de la simulation:

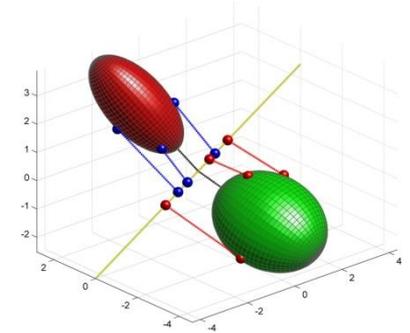
- Vérification de l'alignement des projetés orthogonaux sur l'axe instantané de rotation et de la colinéarité entre $\vec{\omega}$ et (Δ) .

$$rg([A'_1 \ A'_2 \ A'_3 \ B'_1 \ B'_2 \ B'_3 \ \vec{\omega}]) = 1$$

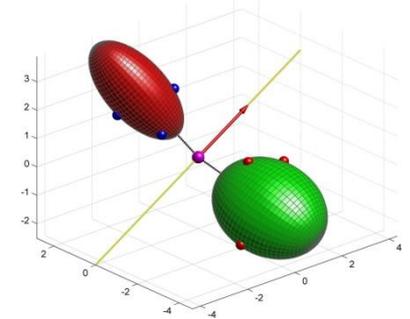
- Comparaison des 3 méthodes: vérification de la localisation commune des 3 axes instantanés de rotation.

$$rg([A'_i \ B'_j \ \vec{\omega} \ C_S \ \vec{\omega}_S \ C_{AH} \ \vec{\omega}_{AH}]) = 1$$

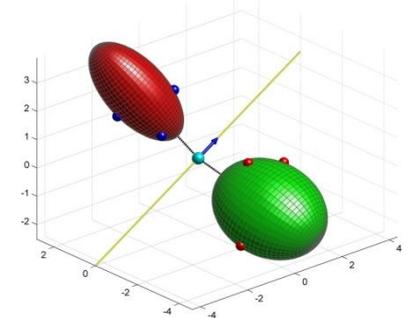
- Discussions:
 - Résultats identiques
 - Hypothèses de départ vérifiées



Méthode présentée



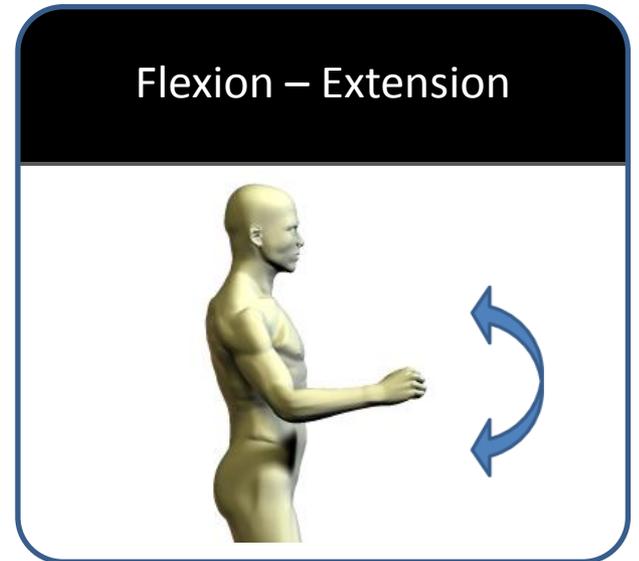
Méthode SCoRE



Méthode axe hélicoïdal 8/11

Analyses expérimentales:

- Articulation sollicitée: coude, flexion – extension



Analyses expérimentales:

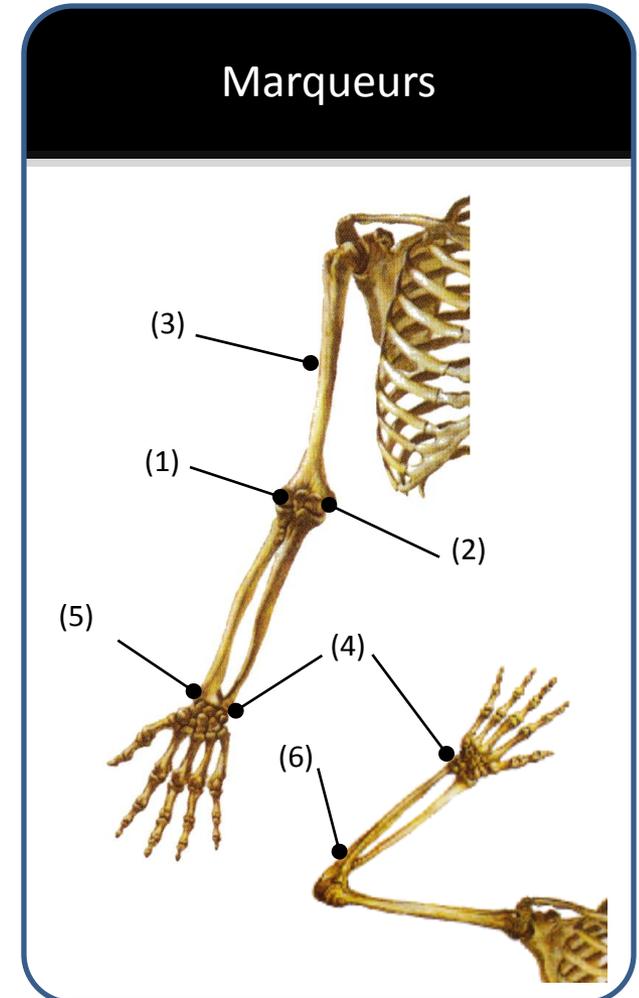
- Articulation sollicitée: coude, flexion – extension
- Système Codamotion avec 3 unités cx1 (Charnwood Dynamics Ltd., Rothley, United Kingdom)

Matériel



Analyses expérimentales:

- Articulation sollicitée: coude, flexion – extension
- Système Codamotion avec 3 unités cx1 (Charnwood Dynamics Ltd., Rothley, United Kingdom)
- **3 marqueurs par segment**
 - Avant-bras:
 - Épicondyle latéral (1),
 - Épicondyle médial (2),
 - Tubérosité deltoïdienne (3).
 - Bras :
 - Processus styloïde de l'ulna (4),
 - Processus styloïde du radius (5),
 - Base de l'oléocrane (6).

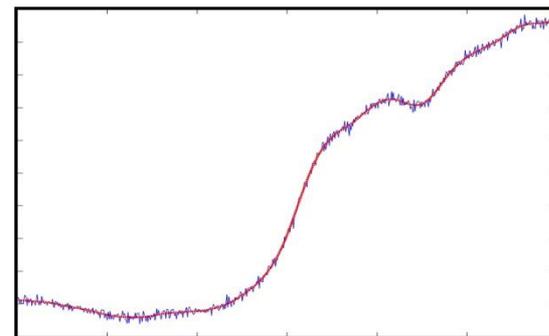


Analyses expérimentales:

- Articulation sollicitée: coude, flexion – extension
- Système Codamotion avec 3 unités cx1 (Charnwood Dynamics Ltd., Rothley, United Kingdom)
- 3 marqueurs par segment
 - Bras:
 - Épicondyle latéral (1),
 - Épicondyle médial (2),
 - Tubérosité deltoïdienne (3).
 - Avant-bras :
 - Processus styloïde de l'ulna (4),
 - Processus styloïde du radius (5),
 - Base de l'oléocrane (6).
- Optimisation des données
 - Filtre butterworth
 - Cluster mathématique (moindres carrés):

$$\min \left[\|AB_i - AB_1\|^2 + \|AC_i - AC_1\|^2 + \|BC_i - BC_1\|^2 \right]$$

Optimisation



Cluster mathématique

Résultats de l'expérience:

- Vérification de l'**alignement** des projetés orthogonaux sur l'axe instantané de rotation et de la **colinéarité** entre $\vec{\omega}$ et (Δ) .

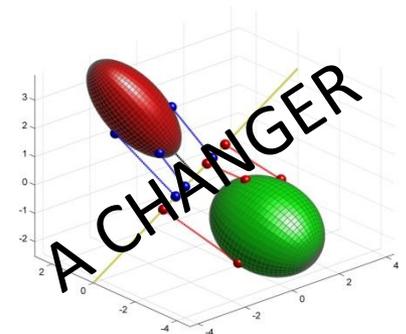
$$M = [A'_1 \ A'_2 \ A'_3 \ B'_1 \ B'_2 \ B'_3 \ \vec{\omega}]$$

$$rg(M) = 1$$

- Si $rg(M) \neq 1$ 
 - Régression linéaire 3D (ACP)
 - Calcul coefficient de régression $r^2(x,y)$ et $r^2(x,z)$
 - Test de colinéarité entre $\vec{\omega}$ et (Δ)

- $r^2(x,y) = 0.9918 \quad 0.0143$; $r^2(x,z) = 0.9893 \quad 0.0161$;

- Toujours quasi-colinéaire: $mean(\widehat{\vec{\omega}}, \widehat{\vec{\Delta}}) = 0.513\% \pm 0.087$



Méthode présentée

Conclusion et perspectives:

- Aucune hypothèse sur le type d'articulation
- Pas besoin de pré-test
- Besoin de peu de données d'entrée

- Campagne de mesures pour cartographier les positions des axes instantanés de rotation inter-segmentaire en fonction du mouvement, de la morphologie, ...
- Identification des paramètres inertiels



A new method for determining the location of the instantaneous axis of rotation during human movements

BRU Bertrand & PASQUI Viviane

**Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique
Université Pierre et Marie Curie – Paris**



Merci de votre attention

